

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

РГБ 04

На правах рукописи

14 АПР 1998

ШИМАНСКИЙ Владислав Владимирович

АТМОСФЕРЫ И СПЕКТРЫ ЗВЕЗД
С ВНЕШНИМ ОБЛУЧЕНИЕМ

Специальность 01.03.02 - астрофизика и радиоастрономия

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук.

пос. Нижний Архыз - 1997

Работа выполнена в Казанском государственном университете

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
академик АНТ, Н.А. САХИБУЛЛИН

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
член - кор. РАН, А.М. ЧЕРЕПАЩУК, (ГАИШ)
доктор физико-математических наук,
В.Г. КЛОЧКОВА, (САО РАН)

Ведущая организация: ИНАСАН г. Москва

Защита диссертации состоится *"24" апреля* 1998 г.
в *"10"* часов на заседании специализированного совета Д 003.35.01
при Специальной астрофизической обсерватории по адресу:
196140, Россия, г. Санкт - Петербург, Пулково, ГАО РАН

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Специальной
астрофизической обсерватории РАН

Автореферат разослан *"23" марта* 1998 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат физ. - мат. наук



Е.К. МАЙОРОВА

Общая характеристика работы.

Актуальность работы. Тесными звездными системами называются группы из двух или более звезд, движущихся вокруг единого центра тяжести и оказывающих заметное воздействие друг на друга. Механизмами такого воздействия являются: гравитационный - изменение движения и формы компонент в силу закона притяжения, аккреционный - сброс части вещества одного из компонент на другой, радиативный - изменение температуры и давления в поверхностных слоях при внешнем облучении. Последнее влияние, как правило, не может сильно изменить структуру звезды, но способно полностью перестроить ту часть ее внешней оболочки, в которой образуется излучаемый спектр. Таким образом, только корректно учитывая эффекты облучения в тесных системах, мы можем правильно описать наблюдаемые особенности, получить их параметры и построить согласованные модели.

Первым исследованием строения атмосфер с внешним излучением можно считать работы Милна и Чандрасекара, рассмотревших особенности распределения функции источника в предположении серой модели. Однако, серьезные работы в данной области были начаты только в семидесятые - восьмидесятые годы, в связи с появлением компьютеров, достаточно мощных для расчета несерых моделей атмосфер. Особенно важным оказалось осознание того факта, что серьезные изменения температурного распределения в облучаемых атмосферах могут происходить только в случае, когда внешнее и собственное излучение звезды приходится на спектральные диапазоны с резко различными коэффициентами непрозрачности.

В последние десятилетия выделилось несколько направлений в изучении облучаемых моделей атмосфер:

- 1) Расчет набора точных или приближенных моделей облучаемых атмосфер для дальнейшего использования их при построении синтетического спектра тесной двойной системы. Данное направление в настоящий момент представляется наиболее перспективным для согласованного моделирования системы и определения ее параметров.

2) Исследования на основе, как правило, сильно приближенных моделей вопросов нарушения гидростатического равновесия и появления звездного ветра в облучаемых атмосферах. Такие работы выполнялись, главным образом, в семидесятые - начале восьмидесятых годов для областей вблизи первой точки Лагранжа и преследовали цель изучения физических аспектов проблемы аккреции и потери массы в двойных системах.

3) Изучение нестационарных явлений в Новых звездах, связанных с эффектом медленного проникновения внешнего излучения, выделившегося во время вспышки, вглубь конвективных оболочек вторичных компонент, и его влияние на изменения температурного распределения за большие промежутки времени.

4) Исследования изменения в спектрах атмосфер с внешним облучением на основе точных моделей. Целью таких работ обычно является определение групп линий, пригодных для исследования в различных системах, а также объяснение особенностей в формировании линий разных элементов (например, полос TiO , линий NaI в Новых, линий HeI в В - звездах и т. д.). Как правило, для получения спектра рассчитываются наиболее точные модели атмосфер, в том числе, с середины восьмидесятых годов - конвективные, а с начала девяностых - неЛТР.

Таким образом, *актуальность проблемы* объясняется происходящим с середины 70-ых годов переходом от качественных и полукачественных исследований двойных систем к их точному численному моделированию. При этом необходимость моделирования облучаемых атмосфер возникает при решении следующих задач:

1) Исследования кривой блеска системы с получением данных о ее орбитальном периоде(или периодах), эксцентриситете орбиты, температурах и радиусах компонент. Без применения численного моделирования только данные о периоде можно считать достоверными. При несовпадении орбитального периода и периодов вращения компонент (что имеет место для молодых предкатаклизмических и симбиотических систем) скорость охлаждения атмосферы, покидающей зону горячего пятна, может оказаться недостаточной. Это должно приводить к смещениям максимумов и минимумов на

кривой блеска и к ложным выводам о наличии эксцентриситета в системе. Температуры и радиусы оцениваются из наблюдения цветов (($U - V$), ($V - V$) и т. д.) систем в разных фазах путем сравнения их с данными для обычных атмосфер. Однако, излучение в полосах, имеющих большой коэффициент поглощения, определяется в основном внешним излучением, а в полосах с малым коэффициентом поглощения - собственно параметрами звезды. В результате показатели цветов сложным образом зависят от характеристик компонентов и их взаимной конфигурации. Обработка кривых блеска, проводимая без учета этих эффектов с использованием метода моделей атмосфер, может привести к существенным ошибкам.

2) Исследования кривых лучевых скоростей с получением больших полуосей и эксцентриситетов орбит, масс и радиусов компонент. В основном, такие исследования основываются на определении величин смещения линий в их ядрах или на ширине доплеровского профиля. Для большинства систем с наличием эффекта облучения итоговый профиль линии является суперпозицией абсорбционного профиля первого компонента и эмиссионного - второго, и нахождение смещений становится затруднительным. Наблюдаемый спектр усложняется вращением компонентов, что для вторичной звезды означает дополнительное разделение абсорбционного и эмиссионного профилей. Применение метода облучаемых моделей атмосфер позволит точно моделировать профили линий в пределах элементарных площадок на поверхности звезд и производить их свертку, что даст возможность точно определять смещения линий. Кроме того, данный подход предусматривает учет скоростей вращения компонент, а также точное вычисление удельных интенсивностей в направлении наблюдателя.

3) Разработка теоретических аспектов формирования атмосфер с внешним облучением и их спектров. Такие исследования оказываются важными для определения возможности существования конвективных оболочек в облучаемых атмосферах, появления зон тепловой и гидростатической неустойчивости, звездного ветра. Результаты работы могут быть использованы для построения согласованных моделей тесных двойных систем, решения проблем их пре-

дыдущей и последующей эволюции, в частности, для описания явлений аккреции, потери углового момента, общих газовых оболочек и синтеза химических элементов. Кроме того, при теоретическом исследовании формирования спектров могут быть определены различные критерии (наклоны пашенковского и бальмеровского континуумов, величины эмиссионных и абсорбционных скачков, показатели цвета, эквивалентные ширины и профили линий различных элементов), наиболее пригодные для раздельного определения параметров звезд и внешнего излучения в рамках приближенных моделей. Результаты данной работы могут быть проведены для небольшого числа моделей, полученных с наилучшей точностью и распространены на массовые расчеты.

4) Точные моделирования спектров двойных систем с получением приближенных температурных распределений в атмосфере звезды, поля скоростей на ее поверхности и химического состава в двойной системе, параметров звездного ветра и газовых оболочек. Данные работы в настоящее время представляются наиболее перспективными, т. к. позволяют использовать не интегральные, а локальные величины, число которых несравненно больше. Моделирование спектров может быть проведено только на основе моделей атмосфер звезд и моделей межзвездной среды.

Особым вопросом формирования спектров звезд с учетом внешнего излучения является учет возможных неЛТР эффектов. Такие эффекты могут быть очень сильными, т. к. частотные характеристики внешнего излучения и собственного излучения звезды обычно сильно различаются. В итоге изменения в спектре звезды могут происходить при внешнем излучении меньше 10^{-8} от собственного, при этом структура атмосферы не будет иметь никаких изменений. Таким образом, учет внешнего излучения важен для расчета неЛТР состояний высокоионизуемых атомов и ионов в атмосферах звезд В и F - M классов, имеющих высокотемпературные короны и хромосферы.

Целью настоящей работы является выяснение условий формирования атмосфер с внешним облучением, а также выработка методики быстрого расчета моделей таких атмосфер в хорошем прибли-

жении. Кроме того, ставится задача теоретического моделирования спектров облучаемых атмосфер для определения линий, наиболее пригодных для изучения. Конечной задачей ставится разработка методики моделирования синтетических спектров двойных систем с рентгеновскими и оптическими источниками облучения на основе метода моделей атмосфер для получения параметров этих систем и их компонентов с наивысшей точностью.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1) Впервые исследованы изменения в облучаемых моделях атмосфер для избыточной функции источника S_x (определяемой как разница функций источника $S(\tau_r)$ в облученной и необлученной атмосферах) и сделан вывод о линейности процессов нагрева по отношению к мощности внешнего излучения. Проанализированы распределения функции S_x для моделей атмосфер и внешних облучений различных видов и дано их теоретическое объяснение.

2) Показано, что в рамках полусерого приближения с использованием функции охлаждения $4\sigma T_e^4$ на основе комбинаций планковского и росселандовского коэффициентов возможно получение моделей облучаемых атмосфер с лучистым переносом с хорошей точностью. Определены аппроксимации функции охлаждения, дающие наилучшее согласие полусерых и бланкетированных моделей. Найдено существование зон температурной неустойчивости в диапазонах изменения электронной температуры $T_e = 8000 - 12000 K$, $T_e = 20000 - 25000 K$, $T_e = 47000 - 61000 K$, связанное с отрицательным градиентом функции охлаждения. Показана возможность нарушения гидростатического равновесия в хромосферных слоях после прохождения зоны температурной неустойчивости.

3) В приближении ЛТР исследованы особенности формирования линий различных элементов в облучаемых атмосферах с точки зрения потенциалов их ионизации. Определено, что все линии можно разбить на три группы в зависимости от вида их профилей: "холодные" (абсорбционные линии), "нормальные" (абсорбционные линии со слабыми эмиссионными ядрами), "горячие" (эмиссионные линии). Проанализировано изменение профилей линий разных групп при изменении условий их формирования и наблюдения, и показана

применимость "холодных" и "нормальных" линий для определения характеристик атмосферы, а "горячих" - для внешнего излучения.

4) Исследованы неЛТР эффекты в формировании "холодных" линий NaI. Выявлено, что для линий такого типа при наличии внешнего излучения имеет место состояние "сверхрекомбинации", вызванное большой функцией охлаждения и малой функцией нагрева для этого элемента. Предложена методика расчета равновесных состояний различных элементов и неЛТР моделей атмосфер с использованием отношений их функций нагрева и охлаждения. Показано хорошее согласие оценок неЛТР отклонений, полученных таким методом, и методом точных расчетов. Высказано и проверено для иона NaII предположение о наличии эффектов "сверхионизации" для элементов с высокими потенциалами ионизации в условиях внешнего облучения.

5) Исследовано формирование облучаемых моделей атмосфер с конвективным переносом. Определено, что усиление внешнего облучения приводит к разрушению конвективной зоны на глубинах формирования континуума и к быстрому нелинейному возрастанию температуры. Найден радиативный характер формирования температурного распределения для высоких слоев конвективных атмосфер.

6) Разработана методика получения синтетического спектра звезды с внешним облучением на основе метода облучаемых моделей атмосфер. Исследована возможность одновременного определения параметров звезды и системы с рентгеновским источником на основе обработки эквивалентных ширин линий в разных фазах. Синтезирован методом моделей атмосфер с учетом эффекта отражения спектр предкатаклизмической переменной NN Ser в разных фазах. Определена высокая степень согласия непрерывного спектра и линий водорода в теоретических и наблюдаемых спектрах. Уточнены параметры системы (радиус красного карлика, температура белого карлика и наклон орбиты). Показано расхождение наблюдаемых и теоретических линий HeI, NaI, CaII и других атомов, объяснимое возможностью существования сильных неЛТР эффектов.

Достоверность полученных результатов подтверждается: а) вы-

сокой степенью согласия непрерывного спектра NN Ser и линий водорода с данными наблюдений при допустимых параметрах системы; б) совпадением результатов численных расчетов и сделанных на их основе выводов с результатами других авторов и с простыми аналитическими моделями; в) численной проверкой влияния изменений исходных параметров на получаемые результаты.

Работа имеет *научную, методическую и практическую значимость*. Научное значение имеют исследования температурной структуры облучаемых атмосфер с использованием избыточной функции источника и вывод о возможности ее представления через баланс функций нагрева и охлаждения, выделение трех групп линий с разной реакцией на внешнее излучение, изучение особенностей формирования конвективных моделей облучаемых атмосфер, определение эффектов экстремальной "сверхрекомбинации" для "холодных" линий и "сверхионизации" для "горячих" при учете неЛТР эффектов.

Методическое значение имеют реализованная методика расчета бланкетированных моделей атмосфер с внешним рентгеновским или оптическим облучением, метод быстрого получения моделей атмосфер в полусером приближении с использованием баланса локальных функций нагрева и охлаждения, сделанные выводы о применимости линий разных групп для определения параметров атмосферы и внешнего излучения, а также о возможности оценки параметров двойной системы на основе исследования кривых изменения эквивалентных ширин, предложенный способ получения неЛТР моделей в приближении балансов функций нагрева и охлаждения конкретных элементов и создание методик расчета синтетического спектра двойной системы с рентгеновскими или оптическими источниками и учета эффектов облучения при вычислениях неЛТР эффектов отдельных элементов.

Практическое значение имеют программа быстрого учета эффектов облучения в двойных системах и рассчитанные спектры предкатаклизмической переменной NN Ser с уточнением части параметров системы.

Полученные в работе результаты могут найти применение во всех астрономических учреждениях, где исследуются астрофизиче-

ские объекты с наличием эффектов облучения: САО РАН, ГАИШ, КРАО АН Украины, Тартуская обсерватория (Эстония) и др.

На защиту выносятся:

1) Разработанная методика расчета бланкетированных моделей атмосфер с внешним облучением. Выводы о линейности избыточной функции источника S_x по отношению к мощности внешнего излучения и ее зависимости от баланса функций нагрева и охлаждения, о возможности нарушения гидростатического равновесия в хромосферах, о радиативном механизме нагрева хромосфер конвективных атмосфер и о нелинейности роста температуры в их глубоких слоях с разрушением конвективной зоны.

2) Созданная методика расчета моделей атмосфер в полусером приближении. Определение зон возможной температурной неустойчивости в диапазонах $T_e = 8000 - 12000K$, $T_e = 20000 - 25000K$, $T_e = 47000 - 61000K$.

3) Выделение групп линий ("холодных", "нормальных" и "горячих") с различным влиянием внешнего излучения на их профили. Вывод о существовании состояния "сверхрекомбинации" и усилении абсорбционных неЛТР профилей для "холодных" линий NaI в атмосферах F - K звезд при наличии внешнего излучения. Предположение о возможности состояний сильной "сверхионизации" для "горячих" линий и его проверка для иона NaII.

4) Методика вычисления синтетических спектров двойных систем с учетом эффекта отражения. Вывод о возможности определения относительного радиуса облучаемой звезды, отношения мощности излучения компонент и угла наклона системы из анализа спектров в разных фазах. Моделирование теоретических спектров предкатаклизмической переменной NN Ser с уточнением части параметров системы.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на совещаниях рабочей группы "Звездные атмосферы" в 1994 г. (г. Киев), 1995 г. (п. Научный, КРАО), 1996 г. (г. Одесса), 1992 г. (п. Нижний Архыз, САО РАН), на секции "Звезды" IV съезда Астрономического общества в 1997 г. (г. Москва) на конференции "Физика космоса" (г. Екатеринбург) 1994 г., на итоговых научных

конференциях КГУ 1994, 1995, 1996, 1997, 1998 гг., на астрофизическом семинаре в ГАИШе и на семинарах кафедры астрономии КГУ.

По результатам работы оформлено 6 статей.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы, содержит 122 страницы машинописного текста, 61 рисунок и 6 таблиц. Список литературы включает 176 наименований. Общий объем диссертации - 196 страниц.

Содержание работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитируемой литературы и приложения.

Во введении дается обоснование актуальности выбранной темы, краткая характеристика и структура предлагаемой диссертации и список работ, в которых опубликованы ее основные результаты.

В первой главе приведен краткий обзор существующих направлений в области моделирования спектров звезд с внешним облучением. Перечисляются типы тесных двойных систем, имеющих эффект отражения и их наблюдаемые особенности. Рассматриваются существующие на данный момент методы учета эффекта отражения и расчета моделей атмосфер. Анализируются выводы о влиянии внешнего излучения на спектр звезд и физические процессы в них, а также имеющаяся на данный момент точность моделирования.

Вторая глава содержит общую постановку задачи расчета облучаемых атмосфер, а также представляет обоснования приближений, допускаемых при дальнейших исследованиях. Далее в этой главе дается аналитическое решение для распределения функции источника в двухпоточковом приближении. Показывается, что в облученной атмосфере функция источника имеет ряд дополнительных возмущающих как непосредственно под воздействием внешнего потока, так и в результате переизлучения энергии в оптическом диапазоне. Полученное решение обобщается для двух членов функции нагрева на случай степенной зависимости мощности внешнего излучения от частоты.

Третья глава состоит из трех пунктов и посвящена описанию программ по расчету моделей атмосфер. В пункте 3.1 дается краткая характеристика подпрограмм, адаптированных для настоящего исследования из программных комплексов ATLAS5 и STARDISK, а также подпрограмм, сделанных лично автором. В пункте 3.2 приведено описание методики расчета модели атмосферы и структуры программы BINARY2. Отдельно представлен способ интерполяции моделей атмосфер и результаты ее тестирования. Далее рассматриваются данные по коэффициентам поглощения в рентгене, способах решения уравнения переноса с учетом внешнего излучения и результаты расчетов планковских коэффициентов для сетки температур и давлений. Пункт 3.3 содержит информацию о методике расчета бланкетированных моделей атмосфер и о программе BINARY3. Показано сравнение моделей, рассчитанных автором и Куруцем для атмосфер с лучистым и конвективным переносом.

Четвертая глава состоит из четырех пунктов и представляет основные результаты расчетов для моделей с лучистым переносом. В пункте 4.1 показаны численные оценки для двух членов функции нагрева в атмосферах разных эффективных температур. Даются сравнения температурных распределений и потоков для облучаемых и необлучаемых атмосфер и делается вывод о невозможности учета эффекта отражения увеличением эффективной температуры звезды. Пункт 4.2 содержит результаты исследований бланкетированных моделей облучаемых атмосфер. Нагрев атмосферы рассматривается с использованием избыточной функции источника и показывается ее линейность по отношению к мощности внешнего излучения и одинаковый характер для различных атмосфер. Приводятся результаты расчетов избыточных функций источника при изменении угла падения и частотной характеристики внешнего излучения, а также учета эффекта бланкетирования в линиях. Показывается возможность появления температурных и гидродинамических неустойчивостей в "хромосфере". Пункт 4.3 посвящен согласованию серых и бланкетированных моделей атмосфер. Для этого функция охлаждения принимается в виде комбинаций планковских и росселандовских коэффициентов непрозрачности. Дают-

ся возможные аппроксимации для функции охлаждения, и рассматривается ее поведение при изменении температуры. В конце пункта показано сравнение серых и бланкетированных моделей для температурных распределений и излучаемых потоков. В пункте 4.4 исследовано формирование профилей линий в облучаемых атмосферах. Дается разделение линий на три группы, в зависимости от соотношения эмиссионных и абсорбционных компонент в их профилях. Анализируется влияние параметров внешнего излучения и условий наблюдения на спектр линий каждой группы. Делается вывод о приемлемости использования линий разных групп для определения параметров атмосферы и внешнего излучения и точности их описания в рамках серых моделей.

В *пятой главе*, состоящей из двух пунктов, внимание уделено специальным вопросам формирования облучаемых атмосфер. В пункте 5.1 возможные отклонения от локального термодинамического равновесия для отдельных элементов в облучаемых атмосферах показаны на примере расчетов для NaI. Дается полное описание использованной модели атома NaI и краткая характеристика программного комплекса NONLTE3 и методики расчетов. Исследования проводятся для атмосфер F - K звезд с моделями, полученными в полусером приближении. Констатируется наличие эффектов сильной "сверхрекомбинации", обсуждаются причины ее возникновения и показываются изменения при варьировании параметров атмосферы и внешнего излучения. Приводятся сравнения ЛТР и неЛТР профилей линий NaI в облучаемых и необлучаемых атмосферах. Вводится β параметр для быстрой оценки возможных отклонений от ЛТР и предлагается методика расчетов приближенных неЛТР моделей облучаемых атмосфер с использованием этого параметра. Делается вывод о наличии эффекта "сверхрекомбинации" при наличии внешнего облучения для "холодных" линий. Рассматривается предположение о наличии эффектов "сверхионизации" для "горячих" линий элементов в основной стадии ионизации и выполняются подтверждающие расчеты на основе модели атома NaII. Пункт 5.2 посвящен формированию конвективных моделей с внешним облучением. Исследуются два набора моделей с разными частотными

характеристиками и углом падения внешнего излучения. Делается вывод о сильном влиянии жесткого излучения на формирование конвективной зоны и температуры в глубоких слоях. Показано, что температурные распределения для атмосфер с мягким облучением могут быть представлены через модели необлучаемых атмосфер.

В *шестой главе*, состоящей из двух пунктов, представлены результаты моделирования спектров систем с эффектами отражения. В пункте 6.1 обсуждаются вопросы формирования линий в интегральном спектре звезды с внешним рентгеновским облучением. Дается краткое описание методики расчета спектра такой звезды на основе метода облучаемых моделей атмосфер и программы BINARY2. Рассматривается формирование профилей линий разных групп в различных фазах орбитального периода и их пригодность для определения параметров звезды. Делается вывод о возможности определения части параметров системы (угол наклона орбиты, отношение светимостей компонентов и радиус звезды) из анализа эквивалентных ширин линий. Пункт 6.2 содержит результаты моделирования синтетических спектров предкатаклизмической переменной NN Ser. Дается краткое описание эволюционного статуса предкатаклизмических переменных, наблюдаемых эффектов в их спектрах и последние результаты исследований NN Ser. Расчеты спектров проводятся с построением согласованных моделей атмосфер обоих компонентов, поля скоростей и условий наблюдений. Рассматриваются особенности формирования атмосфер с облучением в области лаймановского континуума. По средним спектрам для фаз с облучением и без него уточняется часть параметров системы. Делается вывод о хорошем согласии теоретических и наблюдаемых данных для непрерывного спектра и водородных линий. По результатам синтеза других линий выдвигается предположение о наличии сильных неЛТР эффектов для HeI, CaII и NaI.

В *заключении* кратко сформулированы основные результаты, полученные в работе.

Основное содержание диссертации изложено в следующих *статьях*:

Сахибуллин Н.А., Шиманский В.В. Атмосферы и спектры звезд

с внешним рентгеновским облучением. Часть 1. Серая модель. - *Астрономический журнал*, 1996, т.73, с.73 - 80.

Сахибуллин Н.А., Шиманский В.В. Атмосферы и спектры звезд с внешним рентгеновским облучением. Часть 2. Несерая модель. - *Астрономический журнал*, 1996, т.73, с. 793 - 799.

Сахибуллин Н.А., Шиманский В.В. Атмосферы и спектры звезд с внешним рентгеновским облучением. Часть 3. Формирование линий. - *Астрономический журнал*, 1997, т.74, с. 432 - 439.

Н.А. Сахибуллин, В.Ф. Сулейманов, В.В. Шиманский, С.Л. Сулейманова Формирование бальмеровских линий водорода в спектрах рентгеновских новых звезд. - *Письма в Астрономический журнал*, 1998, т. 24, n1, с. 1.

Sakhibullin N.A., Shimansky V.V., Suleimanov V.F., Suleimanova S.L. Computation of the optical spectra of the binaries with hard radiation. - *Symp. 188 of 23 General Assembly MAS, Kyoto, 1997, S188 - 245P, P. 353.*

Sakhibullin N.A., Shimansky V.V. About probability of research of the NN Ser spectrum by model atmospheres method. - *Odessa Astron. Publ.*, 1997, V. 9.

Suleimanov V.F., Shimansky V.V. Line formation in the spectra of X-ray novae. - *Odessa Astron. Publ.*, 1997, V. 9.

Сахибуллин Н.А., Шиманский В.В. Условия не-ЛТР формирования линий в атмосферах с внешним рентгеновским облучением. - *Труды II республиканской научной конференции молодых ученых и специалистов*, 1996, с. 89.



Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО "Дизайн архитектурной среды"
Заказ № 02/044. Тираж 100 экз. Бумага офсетная. Объем 1 п.л.
г.Казань, ул. Университетская, 17
тел. 38-05-96, 31-55-34